

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 02-015545

(43)Date of publication of application : 19.01.1990

(51)Int.Cl.

H01J 37/244
G01B 15/00
G01N 23/04
H01J 37/22
H01L 21/027
H01L 21/66

(21)Application number : 63-162527

(71)Applicant : HITACHI LTD

(22)Date of filing : 01.07.1988

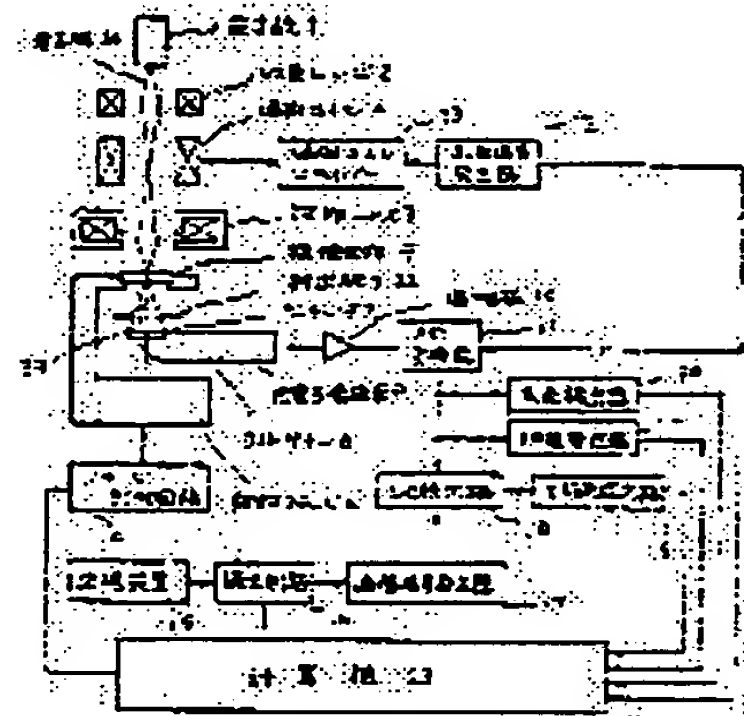
(72)Inventor : KOSHISHIBA HIROYA
FUSHIMI SATOSHI
NAKAGAWA YASUO
NAKAHATA MITSUZO

(54) DEVICE AND METHOD FOR PATTERN DETECTING BY SCANNING TYPE PENETRATING ELECTRON MICROSCOPE.

(57)Abstract:

PURPOSE: To detect patterns in high contrast without being influenced by electro static charge even if a detected object is an insulator by making the accelerating voltage of electron sufficiently high as well as utilizing the difference of the diffusion angle distributions of electron in a pattern and a base board.

CONSTITUTION: In a pattern detecting device, an electron gun 1, convergent lenses 2, objective lenses 3, deflecting coils 4, a scintillator 7, a multiplier phototube 9, a scanning signal generator 12 and a deflecting coil driver 13 are provided. A stage control circuit 14, a memory device 15, a picture signal generator 17, a defect discriminating circuit 19, a focus detector 20, a lightness measuring device 21, injection stops 22 and a calculator 23 are further provided. The accelerating voltage of electron is made sufficiently high so that the electron injected into a detected object 5 can penetrate without being absorbed in the detected object. The electron which penetrated the detected object 5 is detected in a wide range, that is, detected together with the electron scattered at the pattern and the base board, the contrast can be obtained by the difference of both diffusion angle distributions. As a result, the pattern can be detected in high contrast without being influenced by electro static charge.



⑨ 日本国特許庁(JP)

⑩ 特許出願公開

⑫ 公開特許公報(A)

平2-15545

⑬ Int. Cl.³

H 01 J 37/244

識別記号

庁内整理番号

7013-5C
7376-5F
7376-5F

H 01 L 21/30

⑭ 公開 平成 2 年(1990) 1 月 19 日

3 0 1 V
3 3 1 M※

審査請求 未請求 請求項の数 26 (全13頁)

⑮ 発明の名称 走査型透過電子顕微鏡によるパターン検出装置及びその方法

⑯ 特 願 昭63-162527

⑰ 出 願 昭63(1988) 7 月 1 日

⑱ 発 明 者 越 柴 洋 哉 神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地 株式会社日立製作所生産技術研究所内

⑲ 発 明 者 伏 見 智 神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地 株式会社日立製作所生産技術研究所内

⑳ 発 明 者 中 川 泰 夫 神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地 株式会社日立製作所生産技術研究所内

㉑ 出 願 人 株式会社日立製作所 東京都千代田区神田駿河台 4 丁目 6 番地

㉒ 代 理 人 弁理士 小川 勝男 外 1 名

最終頁に続く

明 細 書

1. 発明の名称

走査型透過電子顕微鏡によるパターン検出装置及びその方法

2. 特許請求の範囲

1. 電子を発生し、加速する電子銃と、加速された電子線を集束させる収束レンズ群と、電子線を被検査物上で走査させる偏向手段と、被検査物で散乱を受け被検査物を透過した電子を検出して電気信号に変換する検出手段と、上記偏向手段の偏向信号に同期して上記検出手段からの電気信号を取り込み、被検査物の検出画像を構成する画像構成手段とを備えたことを特徴とする走査型透過電子顕微鏡によるパターン検出装置。

2. 上記検出手段は、特定の散乱角の電子のみを選択的に検出する選択手段を備えたことを特徴とする請求項 1 記載の走査型透過電子顕微鏡によるパターン検出装置。

3. 上記選択手段は、絞りによって構成したこと

を特徴とする請求項 2 記載の走査型透過電子顕微鏡によるパターン検出装置。

4. 上記選択手段は、被検査物と電子線検出面との距離及び電子線検出面の大きさで規定することを特徴とする請求項 2 記載の走査型透過電子顕微鏡によるパターン検出装置。

5. 上記検出手段は、2次元に配置した複数の電子線検出器を備えたことを特徴とする請求項 1 記載の走査型透過電子顕微鏡によるパターン検出装置。

6. 2次元に配置した複数の電子線検出器からの検出信号のうち特定の検出器からの検出信号のみを加算し使用することで、特定の散乱角の電子のみを選択的に検出することを特徴とする請求項 5 記載の走査型透過電子顕微鏡によるパターン検出装置。

7. 2次元に配置した複数の電子線検出器は、その配置が格子状であることを特徴とする請求項 5 記載の走査型透過電子顕微鏡によるパターン検出装置。

8. 2次元に配置した複数の電子線検出器はその配置が同心円状の検出面を持つ電子線検出器からなることを特徴とする請求項5記載の走査型透過電子顕微鏡によるパターン検出装置。
9. 電子銃は、電子が被検査物中に吸収させず被検査物を透過するために必要なエネルギーを持つまで電子を加速することを特徴とする請求項1記載の走査型透過電子顕微鏡によるパターン検出装置。
10. 収束レンズ群の構成要素である対物レンズは、アクトレンズ方式であることを特徴とする請求項9記載の走査型透過電子顕微鏡によるパターン検出装置。
11. ステージは、X線マスクを載置できる大きさを有することを特徴とする請求項9記載の走査型透過電子顕微鏡によるパターン検出装置。
12. 偏向手段は、走査軌道を分割し、分割した領域毎にダイナミックフォーカス及びダイナミックステイグマ補正を行なうことを特徴とする請求項9記載の走査型透過電子顕微鏡によるパタ

段から読出した基準パターンデータと比較し、不一致部を出力する比較手段と、上記比較手段より出力される不一致部から欠陥部を抽出する判定手段とを備えたことを特徴とする走査型透過電子顕微鏡によるパターン検出装置。

16. 露光領域の周辺部に3ヶ所以上の自動焦点合せ用のパターンを持つことを特徴とするX線露光用マスク。
17. 電子線を光に変換するシンチレータと、光を電気信号に変換する光電子増倍管と、シンチレータと光電子増倍管を接続するライトガイドから構成される電子線検出器において、紫外光を発するシンチレータと、紫外光のみを透過させるフィルターを光電子増倍管の前に配置することを特徴とする電子線検出器。
18. 電子線を光に変換するシンチレータと、光を電気信号に変換する光電子増倍管と、シンチレータと光電子増倍管を接続するライトガイドから構成される電子線検出器において、結晶のシンチレータを用い、シンチレータの側面及び底

面を検出装置。

13. ステージは、収束レンズ群の構成要素である対物レンズ下面と増動材を介して接触していることを特徴とする請求項9記載の走査型透過電子顕微鏡によるパターン検出装置。
14. 収束レンズ群は電子線のスポット径を検出すべき最小欠陥寸法と同程度に収束させることを特徴とする請求項1記載の走査型透過電子顕微鏡によるパターン検出装置。
15. 電子を発生し、加速する電子銃と、加速された電子線を収束させる収束レンズ群と、電子線を被検査物上で走査させる偏向手段と、被検査物で散乱を受け被検査物を透過した電子を検出して電気信号に変換する検出手段と、上記偏向手段の偏向信号に同期して上記検出手段からの電気信号を取り込み、被検査物の検出面像を構成する画像構成手段と、上記被検査物を載置し、2次元的に移動できるように構成したステージと、基準パターンデータを記憶する記憶手段と、上記画像構成手段からの検出面像と上記記憶手

面とライトガイドを接合した構造を特徴とする電子線検出器。

19. 電子増倍管の前面に電子線を収束する減速材を配置することを特徴とする電子線検出器。
20. 走査型透過電子顕微鏡によるパターン検出方法において、被検査物を載置したステージを2次元的に移動して次々と画像を検出する間に、一定時間毎に被検査物にある3ヶ所以上の自動焦点合せ用パターンを検出し、ステージの高さ及び傾きを補正し、焦点位置を合せ直すことを特徴とする走査型透過電子顕微鏡によるパターン検出方法。
21. 走査型透過電子顕微鏡によるパターン検出方法において、被検査物を載置したステージを2次元的に移動して次々と画像を検出する間に、一定時間毎に検出面像のヒストグラムを取り、明るさレベルが一定となるように検出信号の増幅器の利得にフィードバックすることを特徴とする走査型透過電子顕微鏡によるパターン検出方法。

22. 走査型透過電子顕微鏡によるパターン検出方法において、基準パターンと検出画像とを比較し不一致部を出力する比較手段は、検出画像全域と基準パターンを粗く位置合せした後、検出画像を分割し分割した検出画像と基準パターンを細かく位置合せし、検出画像と基準パターンを比較することを特徴とする走査型透過電子顕微鏡によるパターン検出方法。

23. 走査型透過電子顕微鏡によるパターン検出方法において、被検査物の検出画像からパターンのエッジを抽出するし、エッジ間の距離を測定するようにしたことを特徴とする走査型透過電子顕微鏡によるパターン検出方法。

24. 走査型透過電子顕微鏡によるパターン検出方法において、被検査物の検出画像からパターンの明るさを計測し、その明るさ情報よりパターン厚みを算出することを特徴とする走査型透過電子顕微鏡によるパターン検出方法。

25. 走査型透過電子顕微鏡によるパターン検出方法において、被検査物の検出画像を基準パター

回研究会資料第137頁から第148頁において論じられている。

またSTEMには、例えばマイクロビームアナリシス第199頁から第206頁において論じられているように、明視野像、暗視野像、Z-コントラスト法、元素像の結像法がある。

明視野像は、検出器の開き角を 10^{-4} rad程度とし散乱していない電子を検出するものである。X線マスクでは基板よりパターンで電子は散乱されやすいためパターンが暗く検出される。

暗視野像は、被検査物で散乱した電子のみを検出する方法である。パターンで散乱した電子を検出するため、パターンが明るく検出される。

Z-コントラスト法は散乱した電子と散乱されなかった電子をそれぞれ別々に検出してその検出信号の比から原子番号に依存したコントラストを得るものである。パターンを構成する元素と基板を構成する元素のそれぞれの原子番号の比でコントラストが与えられる。

元素像は、電子が被検査物中で失なったエネル

ギーでマスキングし、異物及びパターン残りを検出するようにしたことを特徴とする走査型透過電子顕微鏡によるパターン検出方法。

26. 被検査物がX線マスクであることを特徴とする請求項20、または21、または22、または23、または24、または25記載の走査型透過電子顕微鏡によるパターン検出方法。

3. 発明の詳細な説明

(産業上の利用分野)

本発明は、半導体素子ならびにマスクに形成された回路パターンとくにX線露光に使用されるマスクに形成された回路パターンの検査に好適な走査型透過電子顕微鏡によるパターン検出装置及びその方法に関する。

(従来技術)

従来より微細な構造を検出する装置として走査電子顕微鏡(SEM)あるいは走査型透過電子顕微鏡(STEM)が使用されている。SEMによるパターン検出装置は、例えば日本学術振興会何電粒子ビームの工業への応用第132委員会第101

ギー分布を検出するものである。特定のエネルギー損失値をもつ元素を検出できる。

また、SEM、STEMに使用される電子顕微鏡は、例えばマイクロビームアナリシス第141頁から第162頁に論じられているように、シンチレータと光電子増倍管で検出する方法と半導体検出器で検出する方法がある。

(発明が解決しようとする課題)

上記SEMによるパターン検出装置は、被検査物が絶縁物であると帯電(チャージアップ)現象が生じ正確にパターンを検出できないという問題があった。

また上記STEMの結像法は、厚さが $1\mu\text{m}$ 程度以下の薄い被検査物に対しては、被検査物内で一部の電子は散乱され、一部の電子は散乱されないため良好なコントラストを得るが、厚さが $1\mu\text{m}$ 程度以上の厚い被検査物に対しては、被検査物内で大部分の電子が散乱されるため良好なコントラストで像を得られないという問題があった。

また従来のSTEM装置は、インレンズ方式の

対物レンズを使用しているため、被検査物の大きさが限定されるという問題があった。

またSEM, STEMに使用されている従来の電子線検出器はその検出クロック周波数が最高4MHz程度であり、検出時間を短縮できないという問題があった。

本発明の目的は、被検査物が絶縁物であっても帯電の影響を受けることなくパターンを正確に検出することができる走査型透過電子顕微鏡によるパターン検出装置及びその方法を提供することにある。

本発明の他の目的は、被検査物が厚く、大部分の電子が被検査物内で散乱される場合において、被検査物のパターンを高コントラストに検出し、高速のパターン検査を可能とする走査型透過電子顕微鏡によるパターン検出装置及びその方法を提供することにある。

本発明の他の目的は、大きさが数十mmある大型の被検査物に対しても検出可能な走査型透過電子顕微鏡によるパターン検出装置及びその方法を提供することにある。

課題

(~~課題~~を解決するための手段)

電子の加速電圧を十分高くし、被検査物に入射した電子を被検査物中で吸収されることなく透過させることで、絶縁物であっても帯電の影響を受けることなくパターンを正確に検出できる。

また、被検査物を透過した電子を広範囲に検出する即ちパターンで散乱した電子および基板で散乱した電子を共に検出し、パターンで散乱した電子の散乱角分布と基板で散乱した電子の散乱角分布の違いでコントラストを得ることにより高コントラスト検出が達成される。

また、STEMの対物レンズをアクトレンズ方式とし、大型の試料ステージに被検査物を収置することにより、大型の被検査物の検出が可能となる。

また、電子線検出器に、前面に保護材を配置した電子増倍管とすれば高加速電子を効率的かつ高速に検出できる。

また、本発明の走査型透過電子顕微鏡に、自動焦点合せ機構、自動送り機構付試料ステージ、検

出装置を提供することにある。

本発明の他の目的は、高速な走査型透過電子顕微鏡によるパターン検出装置を実現するために、検出速度の速い電子線検出器を提供することにある。

本発明の他の目的は、走査型透過電子顕微鏡によるパターン検出装置を使用したパターンの高速検出装置を提供することにある。

本発明の他の目的は、走査型透過電子顕微鏡によるパターン検出装置に好適にX線マスクを提供することにある。

本発明の他の目的は、パターン寸法を測定できるようにした走査型透過電子顕微鏡によるパターン検出方法を提供することにある。

本発明の他の目的は、パターン厚みを検出できるようにした走査型透過電子顕微鏡によるパターン検出方法を提供することにある。

本発明の他の目的は、異物を検出できるようにした走査型透過電子顕微鏡によるパターン検出方法を提供することにある。

出した画像の画像処理部を付加することによりパターン検査、パターン寸法測定、パターン厚み検査、または異物検査が可能となる。

(作用)

被検査物に入射した電子は、物質と弾性散乱、非弾性散乱を繰り返しながら進行方向をかえエネルギーを失なう。電子の加速電圧が低いときは、被検査物で全てのエネルギーを失なうまで散乱を繰り返し、電子が被検査物に吸収され被検査物が帯電する。一方電子の加速電圧が高いときは、電子はエネルギーを失なう前に被検査物から飛出し被検査物に電荷が蓄積されず、帯電の影響がなく安定にパターンを検出できる。

次に被検査物としてX線露光用マスクを考えたとき、電荷がマスク内に蓄積されない加速電圧を示す。X線マスクの断面を図3に示す。X線を透過し易い物質からなる基板24上にX線を透過しにくい物質からなるパターン25を有し、場合によってはパターン25を保護する目的で表面を薄膜26で覆う。基板が2μm厚のBNと3μm厚のポリイミ

ドの複合膜であり、パターンが1 μm 厚のAlであり、ポリイミドの保護膜をオーバーコートしたX線マスクに対し、電子線の散乱過程をモンテカルロ法で計算機シミュレーションした結果を第6図に示す。加速電圧30kVのときは、電子はAlパターンに吸収されておりマスクの帯電が予想される。実際に加速電圧30kVのSTEMで検出したところX線マスクは帯電しパターンを満足に検出できなかった。加速電圧100kVのときは、電子はAlパターンで大きく散乱しているが吸収されない。実際に加速電圧100kVのSTEMで検出したところ帯電の影響がなくパターンを安定に検出できた。

さらに加速電圧を200kVに上げると、保護膜内でのビームの広がりが少ないため、パターンを高分解能で検出できる。加速電圧が75kV以上であれば、X線マスクは帯電せず安定に検出できる。

第5図にパターン及び基板での電子の散乱角分布を示す。電子は基板よりパターンで大きく散乱される。以下このパターン及び基板における電子の散乱角分布の違いを利用して良好なコントラ

stにパターンを検出する万法を述べる。検出器で散乱角が $0 \sim \theta$ までの電子を検出する(以下、検出角が θ と言う)ときその検出信号は散乱分布曲線を 0 から θ まで積分した値、即ちパターンの検出信号は曲線 $OB'A$ と直線 OA' と直線 AA' とで囲まれた面積であり、基板の検出信号は曲線 OB と直線 OA' と直線 AA' とで囲まれた面積である。このときのコントラストは、基板の検出信号とパターンの検出信号との差即ち曲線 OB と曲線 $OB'A$ とで囲まれた面積に相当する。次に検出角が ϕ のときを考える。基板の検出信号は曲線 OB と直線 OB' と直線 BB' とで囲まれた面積、パターンの検出信号は曲線 OB' と直線 OB' と直線 BB' とで囲まれた面積であり、コントラストはその差即ち曲線 OB と曲線 OB' と直線 BB' とで囲まれた面積である。この面積は検出角 θ のコントラストに相当する面積に比べ直線 BB' と曲線 BA と曲線 BA' とで囲まれた面積だけ小さい。即ち検出角 ϕ のコントラストは検出角 θ のコントラストより小さいことがわかった。同様に検出角 ψ のコントラストは曲線 OB

と曲線 $OB'A$ で囲まれた面積から曲線 AC と曲線 AC' と直線 CC' で囲まれた面積を差引いた面積に相当するため、検出角 θ のコントラストより小さい。以上の議論より検出角 θ のときコントラストが最大となることがわかった。故に散乱角が $0 \sim \theta$ の電子を検出することで良好なコントラストでパターンを検出できる。

次に検出角 θ の具体例を述べる。被検査物としてX線マスクを考えたとき、モンテカルロ法による電子散乱シミュレーションより得たパターンと基板の散乱角分布を第4図に示す。シミュレーションは電子の加速電圧を200kVとして、2種類のX線マスクについて計算した。1つは基板が2 μm 厚のBNと3 μm 厚のポリイミドの複合膜でありパターンが1 μm 厚のAlであるX線マスクであり、他方は基板が2 μm 厚のSiNでありパターンが0.75 μm 厚のTaであるX線マスクである。それぞれポリイミドの保護膜厚さを2 μm と0.5 μm として計算した。第4図からX線マスクの構造により多少違いますが、コントラストが最大となる検出角 θ は0.2

rad程度である。この値は従来のSTEMの検出角に比べ格段に大きい。この検出角 θ は電子の加速電圧に依存し、加速電圧が高いと θ は小さくなり、低いと θ は大きくなり、およそ $5^\circ \sim 25^\circ$ が適切である。

第23図に加速電圧200kV時のコントラストと検出角の関係を表した測定値を示す。第23図は第4図を積分したグラフに相当する。基板信号とパターン信号の差であるコントラストは、シミュレーションで予測した通り測定値でも検出角が約0.2radのとき最大となった。

コントラストの向上と共に検出信号のS/Nも改善される。第24図に検出角の違いによるS/Nの向上例を示す。本発明により従来に比較してS/Nが10倍以上向上することを確めた。

S/Nの向上に伴ない検出速度を速くすることができる。しかし従来の電子線検出器の検出クロック周波数は4MHz程度であった。電子増倍管を使用することで高速度に検出できるが、高加速電子に対する検出感度が低くSTEMには使用できな

かった。そこで、電子増倍管の前面に減速材を置き、電子のエネルギーを減少させ、1段面のダイオードから発生する2次電子発生率を増加させることで、検出感度を高めることができる。

〔実施例〕

以下、本発明の一実施例を第1図より説明する。本発明によるパターン検査装置は、電子銃1と、収束レンズ2と、対物レンズ3と、偏向コイル4と、被検査物5と、試料ステージ6と、シンチレータ7と、ライトガイド8と、光電子増倍管9と、増幅器10と、A/D変換器11と、走査信号発生器12と、偏向コイルドライバ13と、ステージ制御回路14と、記憶装置15と、読出し回路16と、画像信号発生器17と、比較回路18と、欠陥判定回路19と、焦点検出器20と、明度調整器21と、射出絞り22と、計算機23とから構成されている。

電子銃1で発生し加速された電子線24は収束レンズ2と対物レンズ3によって被検査物5上にスポットに収束される。このとき電子の加速電圧は被検査物を透過しうるために十分高く設定されて

で光電子増倍管9に導かれ、さらに光電子増倍管9で電気信号に変換される。電子線検出器はこのシンチレータと電子増倍管で検出する方法に限定されるものではなく、例えば半導体検出器を使用することも可能である。光電子増倍管9からの電気信号は増幅器10で増幅され、走査信号と同期して、A/D変換器11で量子化し走査透過電子像(STEM像)を得る。

一方この検出動作と並行し、記憶装置15に記憶されている被検査物5のパターン描画の際使用した設計データを読出し回路16で読出し、画像信号発生器17で、検出位置に対応する基準画像を作成する。そしてSTEM像と同期して比較回路18に入力する。比較回路18では、基準画像とSTEM像の位置合せを行なうと共に、両者の不一致部を欠陥判定回路19に出力する。欠陥判定回路19では不一致部のうち許容値以上の不一致部のみを欠陥と判定する。

一方この検出動作と並行し、記憶装置15に記憶されている被検査物5のパターン描画の際使用した設計データを読出し回路16で読出し、画像信号発生器17で、検出位置に対応する基準画像を作成する。そしてSTEM像と同期して比較回路18に入力する。比較回路18では、基準画像とSTEM像の位置合せを行なうと共に、両者の不一致部を欠陥判定回路19に出力する。欠陥判定回路19では不一致部のうち許容値以上の不一致部のみを欠陥と判定する。

1フィールドの検査が終ると計算機23からステージ制御回路14に指令を出し、試料ステージ6を

いる。被検査物がX線マスクの場合は、75 kV程度以上である。

さらに電子線24は、走査信号発生器12からの信号に従って偏向コイルドライバ13により駆動される偏向コイル4で、被検査物5上を走査される。

被検査物5を透過した電子の内、検出信号コントラストが最大となる最適検出角に設定された射出絞り22を通過した電子のみシンチレータ7で検出される。シンチレータ7はX線も検出するため、射出絞り22の材質は電子線による励起X線量が少ない例えばカーボンが好適である。また射出絞り22を絞けずに、シンチレータ7の検出面の大きさおよび、被検査物5とシンチレータ7との距離を調節することで最適な検出角を得ることも可能である。さらに、数種類の被検査物5に対応するため、絞り径の異なる数種類の射出絞り22を用意し交換可能な構造にするかあるいは、射出絞り22を上下方向に移動可能な構造とするかあるいは、絞り径を可変できる構造とするかよい。電子線はシンチレータ7で光に変換され、ライトガイド8

ステップ送りして新たなフィールドを検査する。この動作を繰返し、被検査物5の全面を検査する。試料ステージ6をステップ送りして全面を検査するのではなく、試料ステージ6を一定速度で移動させ、その移動方向と直交方向に電子線24を偏向コイル4で走査する方法で被検査物5の全面を検査してもよい。

ステップ送りして新たなフィールドを検査する。この動作を繰返し、被検査物5の全面を検査する。

試料ステージ6をステップ送りして全面を検査するのではなく、試料ステージ6を一定速度で移動させ、その移動方向と直交方向に電子線24を偏向コイル4で走査する方法で被検査物5の全面を検査してもよい。

第2図に、複数の電子線検出器を使用して、特定の散乱角の電子のみを検出する一例を示す。被検査物5は、試料ステージ6のチャック25で固定されている。電子線検出器群27が試料ステージ6に固定され、その配置は第2図(b)に示すように格子状である。電子線24は被検査物5内で散乱を受けた後電子線検出器群27で検出される。電子線検出器群27には例えば半導体検出器を使用する。検出器群の信号のうち特定の検出器の信号のみを加算することで、特定の散乱角の電子のみを検出できる。特に電子線24の軸を中心としてある距離以内にある検出器の信号を加算すると、第1図で説明した射出絞りと同じ効果を得る。試料ステー

ジ6の移動と共に信号を加算する検出器を変えることで常に検出角を一定に保つことができる。また、電子銃24の軸を中心としてある距離だけ離れている検出器の信号を加算したり、減み付けをして加算することで、パターンコントラストを自由に変えられる。

電子銃検出器群27を第2図(c)に示すような同心円の配置とし、ある一部の検出器の信号を加算し、他の信号はすてることで特定の散乱角の電子のみを検出することができる。

第7図に、直径が2インチあるいは3インチ以上あるX線マスクを被検査物とするパターン検出装置の対物レンズおよび試料ステージの構造を示す。従来のSEMはレンズのポールピース内に試料を配置するインレンズ方式であったため、高々数mmの被検査物しか検出できなかった。そこで、被検査物をレンズの磁路の外に配置するアウトレンズ方式とし、大型の試料ステージを対物レンズの下に設けることで、X線マスクの検出を可能とした。アウトレンズ方式の対物レンズは、磁

路29とレンズコイル30から構成され、磁路29の内側にステイグマ補正コイル28を配置する。被検査物であるX線マスク33は、マスクホルダ34に入れられ、さらに試料ステージ6に保持され、X、Y、Z、 θ 、Tilt 方向に移動できる。X線マスク33はマスクホルダ34ごと試料ステージ6から脱着する構造である。電子銃24は対物鏡り31で照射角 α を規定され、X線マスク33上で所定のスポット径とビーム電流となる。例えば、対物レンズの磁極形状が、電子銃照射部の磁極の孔径、磁極の間隔、結像部の孔径がそれぞれ $\phi 30\text{mm}$, 11mm , $\phi 24\text{mm}$ のもので、照射角 α (半角) = 7 mrad のとき、スポット径 $\phi 40\text{mm}$ 、ビーム電流 5 nA を得る。照射角 α を大きくするとビーム電流が増えるため S/N が向上するが逆にレンズの収差のためスポット径が太る。検出時間を短縮するためには、高 S/N 検出するため照射角 α を大きくする方が有利であるが、微細な欠陥を検出するためには、スポット径を小さくするため照射角 α を小さくする方が有利である。X線マスクの軸台は最小

検出欠陥が $0.07 \sim 0.1 \mu\text{m}$ 程度と考えられるので、スポット径を $\phi 0.1\mu\text{m}$ 以下とする必要があるが、むやみに小さくしても、 S/N が低下するばかりではなく、X線マスクのポリイミド保護膜中の電子の散乱のためパターン上でのビーム径が太り分解能は向上しない。このためスポット径は最小検出欠陥寸法と同等あるいは半分程度として、ビーム電流を稼ぐ方が得策である。

対物レンズの磁路29の下面は平面とし、マスクホルダ34に固定した摺動材32を磁路29の下面に押しつけることで試料ステージ6の機械振動を止めブレのない検出画像が得られる。摺動材32を押し上げた状態のまま試料ステージ6を移動させる、あるいは、試料ステージ6を移動させるときは摺動材32を下げ、検出時に押し上げる方法があるが、摺動材32には摩擦の少ない例えばテフロンが好適である。また摺動材32をマスクホルダに固定するのではなく、試料ステージ6の上面あるいは対物レンズの磁路29下面に固定してもよい。

第8図に電子銃検出器の一部であるシンチレー

タ7とライトガイド8の接層部を示す。(a)は断面図、(b)は平面図である。検出速度を上げるために蛍光時間の短いシンチレータ、例えば Yttrium Aluminium Perovskite (YAP) の単結晶が有効であるが、YAPの屈折率が1.96と高いため、シンチレータの底面より側面から放射される光量が多い。そのため、円柱形のライトガイドを第8図に示すように加工し、シンチレータの底面と側面とをライトガイドに接層することで、シンチレータの放射光を効率よく検出できる。ライトガイド8はシンチレータ接層後、光電子増倍管9との接触面以外をアルミコートし、シンチレータの帯電と防止しシンチレータの放射光の集光効率を高める。

またYAPの放射光は中心波長380nmの紫外光であるため、ライトガイド8と光電子増倍管9との間に可視光カット紫外線透過のUV透過フィルタ35を挿入することで、試料ステージ8のステージ位置を測定するレーザ測長器の迷光の影響を防止できる。

第9図に、自動焦点合せ万能のブロック図を示す。X線マスク全面に対し焦点合せをした後、パターン模出し、ステージを移動する。前記対物レンズの焦点深度は $6\mu\text{m}$ 、X線マスクの平坦度は $1\mu\text{m}$ であるため、理想的な試料ステージがあれば一度焦点合せした後はもはや焦点合せを行なう必要がない。しかし実際には、試料ステージの平行度および、レンズの励磁電流の安定度を考慮すると一定時間毎に焦点合せをやり直す必要がある。そこで、一定時間内はパターン模出しとステージ移動を繰り返し、一定時間毎に自動焦点を合せ直すようにすることで、常に焦点の合った状態でパターンを模出し、かつステージ移動毎に焦点合せしないため模出速度の低下を防止できる。

第10図に自動焦点合せ機構を、第11図に自動焦点合せに通したX線マスクを示す。第11図(a)は焦点合せマーク位置を示した平面図、(b)、(c)は焦点合せマークの形を示した平面図である。X線マスクの露光範囲の平坦度 $1\mu\text{m}$ に対し、模出装置の焦点深度は $6\mu\text{m}$ あるので、試料ステージの

焦点合せを行なうことも可能である。

第12図に模出画像の明るさの時間ドリフトを補正する方法を示す。模出画像の明るさ変動の原因は、電子銃1の輝度の時間ドリフトと増幅器10の時間ドリフトである。自動焦点合せの方法と同様に一定時間内はパターン模出しとステージ移動を繰り返し、一定時間毎に明るさ補正を行なう。

第13図に明るさ補正機構を示す。光電子増倍管9から出力される模出信号を増幅しA/D変換器11で量子化し、ヒストグラム21で模出画像のヒストグラムを測定する。ヒストグラムは第14図に示すごとく、基板とパターンの明るさが明確に別れる双峰の分布を示す。分布のピークの明るさが一定になるように光電子増倍管9に供給する電圧を制御することで明るさを補正する。制御する対象は光電子増倍管9に供給する電圧に限らず、増幅器10のゲインあるいは電子銃1の輝度でもよい。

第15図に電子増倍管を使用して電子線を模出する電子線模出器を示す。加速電圧の高い電子線24をそのまま電子増倍管41で模出した場合、電子増

倍管41の1段面のダイオードから発生する2次電子の発生効率が低いため模出感度の面で実用的でなかった。そこで電子増倍管41の前面に電子線を減速させる減速材40を置き、加速電圧を低くした電子線を模出することで、ダイオードの2次電子発生効率を高め模出感度を向上させた。減速材40の材質は後方散乱電子の少ない例えばカーボンが適切である。

第16図に、ダイナミックフォーカスおよびダイナミックステイグマ補正を行なうSTEMの構造を示す。電子線24は偏向コイル4で被検査物5上を走査されるが、偏向量が大きくなると、対物レンズ3の収差によりスポット径が広がる。そこで、走査範囲全域にわたって分解能を維持するために、非点収差補正コイル28と動点焦点補正コイル42で非点収差と焦点ずれを補正する。電子線24の加速電圧が高いため、非点収差補正コイル28と動点焦点補正コイル42は強力であらねばならず、両者のインピーダンスが高くなり、高周波補正が困難となる。そこで第17図に示すごとく走査フィールドを

倍管41の1段面のダイオードから発生する2次電子の発生効率が低いため模出感度の面で実用的でなかった。そこで電子増倍管41の前面に電子線を減速させる減速材40を置き、加速電圧を低くした電子線を模出することで、ダイオードの2次電子発生効率を高め模出感度を向上させた。減速材40の材質は後方散乱電子の少ない例えばカーボンが適切である。

第16図に、ダイナミックフォーカスおよびダイナミックステイグマ補正を行なうSTEMの構造を示す。電子線24は偏向コイル4で被検査物5上を走査されるが、偏向量が大きくなると、対物レンズ3の収差によりスポット径が広がる。そこで、走査範囲全域にわたって分解能を維持するために、非点収差補正コイル28と動点焦点補正コイル42で非点収差と焦点ずれを補正する。電子線24の加速電圧が高いため、非点収差補正コイル28と動点焦点補正コイル42は強力であらねばならず、両者のインピーダンスが高くなり、高周波補正が困難となる。そこで第17図に示すごとく走査フィールドを

幾つかのサブフィールドに分割し、サブフィールド内の補正量を同一として、サブフィールド毎に電子線24を走査する。サブフィールド内の補正量のバラツキを無視しているが、同一点付近の補正量の違いは小さいので実用上は十分である。この補正方法を実現するためには、走査信号発生器12で、サブフィールドに対応した直線成分を加算したノコギリ波を発生させ、動点焦点補正ドライバ43と非点収差補正コイルドライバ44でサブフィールドに対応した補正量を発生させる。

第18図に本パターン検出装置で得た画像と設計データを比較してパターン欠陥を抽出するブロック図を示す。パターン検出装置で得たS T E M像の明るさレベルおよびシェーディングを補正した2値化した画像と、設計データから発生した基準画像となる設計パターンとをブリアライメントした結果を用いS T E M像の位置を補正する。このとき、描画時パターンのコーナは丸まる現象を考慮して設計パターンのコーナを例えば多数決フィルターでおとす。S T E M像は画像歪があるため

ブリアライメントを行なっても設計パターンと正確には一致しない。そこで、S T E M像および設計パターンの同一位置の一部を切出し、切出した画像に対して精密にブリアライメントを行なう。S T E M像は画像歪があっても、局所的には画像歪を無視し得るため、切出した画像同士のアライメント精度は良い。このようにして位置補正したS T E M像と設計パターンを例えば点張り関数としてガウス分布を与えて得た多値化した設計パターンとの誤差画像パターンマッチングを行ない不一致部を欠陥として出力する。誤差画像を比較しているため凹凸黒点白点のパターン欠陥だけでなく、パターンの厚みの検査もできる。これは、パターンが厚くなると検出信号が少なくなり、薄くなると検出信号が多くなるためである。このときのヒストグラムを第19図に示す。

第20図に広範囲にわたるパターン厚さの変化を検出する方式のブロック図を示す。検出したS T E M像のヒストグラムをとり、パターンの明るさレベルを求める。そのレベルとパターンの基準明

らさレベルを比較し、パターン厚みを検査する。

第21図に本パターン検出装置を応用して異物検査する方式のブロック図を示す。画像を切出しブリアライメントするまでは上記第18図で説明したパターン欠陥検出方法と同じであるので説明を省く。切出した画像同士をどんなに正確にブリアライメントしても画素サイズ以下のずれ量が残るので、設計パターンを一画素拡大して、S T E M像をマスキングする。マスキングされたS T E M像は基板部のみであるので、理想的には全面白い基板レベルの信号であるが、異物や黒点があると黒くなる。ある閾値で2値化し、黒い部分を抽出すると、そこが異物あるいは黒点である。

第22図に本パターン検出装置を応用してパターンの寸法を測定する方式のブロック図を示す。まず検出したS T E M像から測定したいパターンのエッジ位置を求める。これはS T E M像をC R Tに表示し、カーソルで目視でエッジを抽出する方式、波形の傾きからエッジを抽出する方式がある。側長したい2つのエッジを抽出し、そのエッジ間の

距離を算出することで側長機能を実現できる。

(発明の効果)

本発明によれば、X線マスクの回路パターン検査等において、帯電の影響を受けずに高コントラストでパターンを検出でき、かつ検出信号のS/Nを格段(10倍以上)に向上することかできる。また、直径2インチ以上の大型の被検査物を検出できるため、X線マスクを破壊することなく検査可能である。更に検出速度が向上したため、パターン検査時間を短縮する効果がある。

本発明のパターン検出装置によれば、パターン厚み検査、異物検査、パターン寸法測定が可能である。

4. 図面の簡単な説明

第1図は本発明の一実施例であるパターン欠陥検査装置の要部断面図、第2図は電子線検出器の説明図、第3図はX線マスクの断面図、第4図はX線マスクの電子線散乱分布図、第5図は検出コントラストが最大となる取崩検出角の説明図、第6図はX線マスク内の電子散乱過程図、第7図は

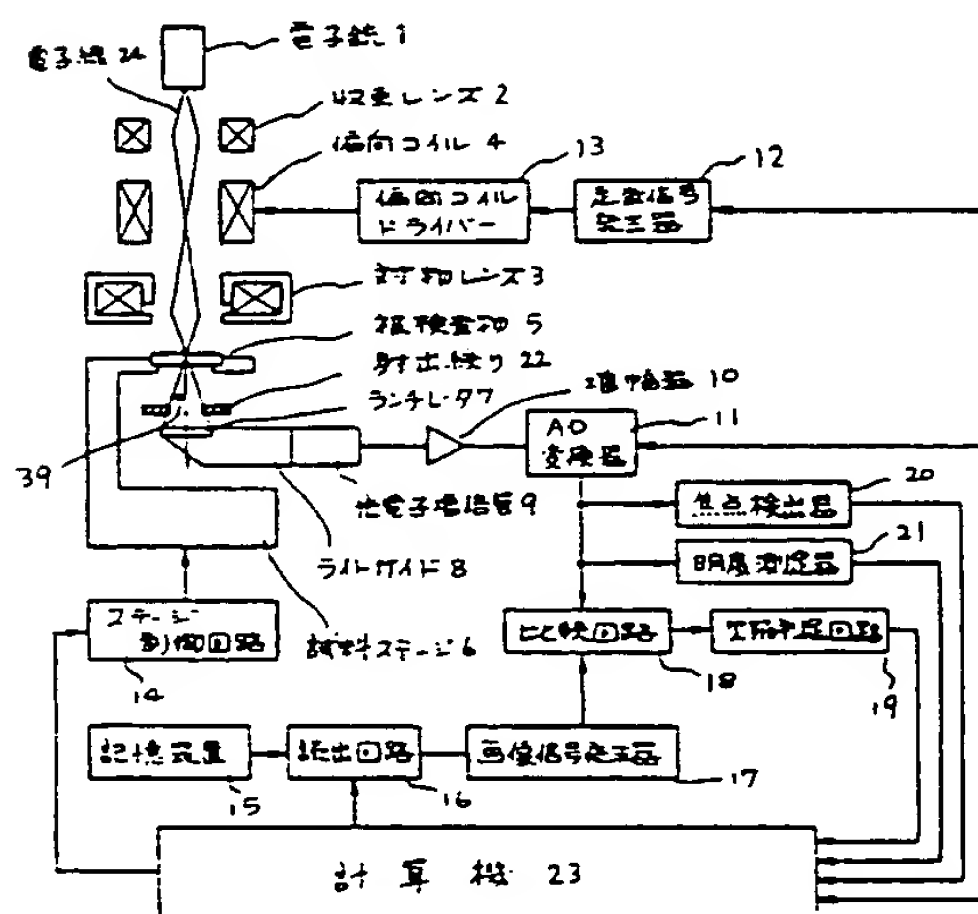
アウトレンズ方式対物レンズの断面図、第8図はシンチレータとライトガイドの接続の説明図、第9図は自動焦点合せ方法を説明したブロック図、第10図は自動焦点合せ機構の説明図、第11図は自動焦点合せに好適なX線マスクの説明図、第12図は明るさ補正方法を説明したブロック図、第13図は明るさ補正機構の説明図、第14図は検出画像のヒストグラムを示す図、第15図は電子増倍管を使用した電子線検出器の説明図、第16図はダイナミックフォーカスとダイナミックステイグマ補正を取入れたパターン検査装置の装置断面図、第17図はダイナミックフォーカスとダイナミックステイグマ補正を行なうときの走査フィールドの説明図、第18図はパターン検査方法を説明するブロック図、第19図はパターン厚みの検出原理図、第20図はパターン厚み検査方法を説明するブロック図、第21図は異物検査方法を説明するブロック図、第22図はパターン寸法測定方法を説明するブロック図、第23図は検出コントラストが最大となる最適検出角の関数図、第24図は最適検出角によるS/N

向上の効果を測定した図である。

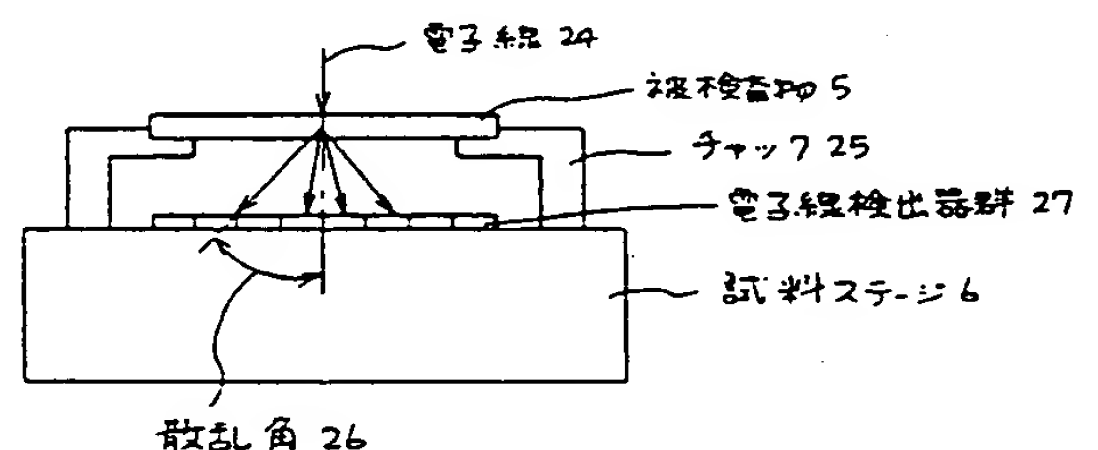
- | | |
|---------------|--------------|
| 1 ... 電子銃 | 2 ... 収束レンズ |
| 3 ... 対物レンズ | 4 ... 偏向コイル |
| 5 ... 被検査物 | 6 ... 試料ステージ |
| 7 ... シンチレータ | 8 ... ライトガイド |
| 9 ... 光電子増倍管 | 10 ... 増幅器 |
| 11 ... A/D変換器 | 24 ... 電子線 |
| 39 ... 検出角 | |

代理人 井堀士 小川 男

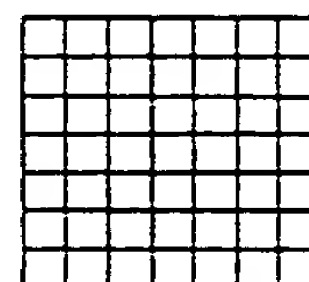
第 1 図



第 2 図
(a)



(b)



(c)



図 3

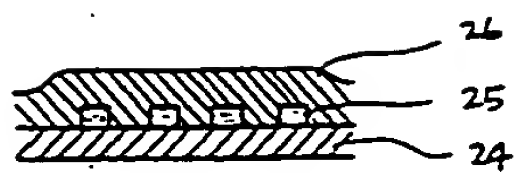


図 5

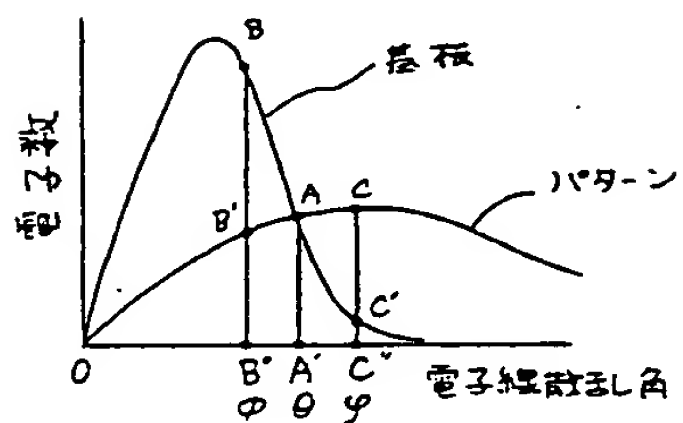
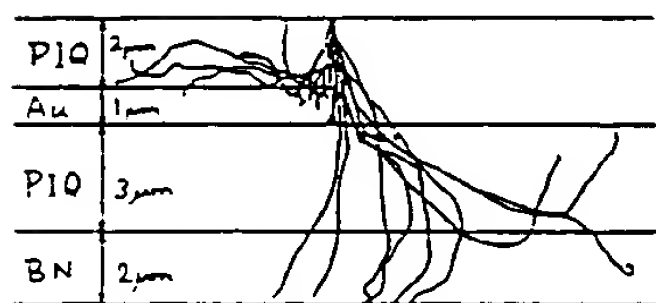
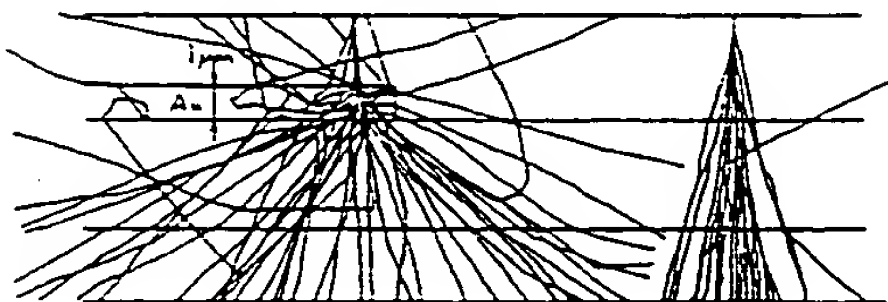


図 6

(a) 30kV



(b) 100kV



(c) 200kV

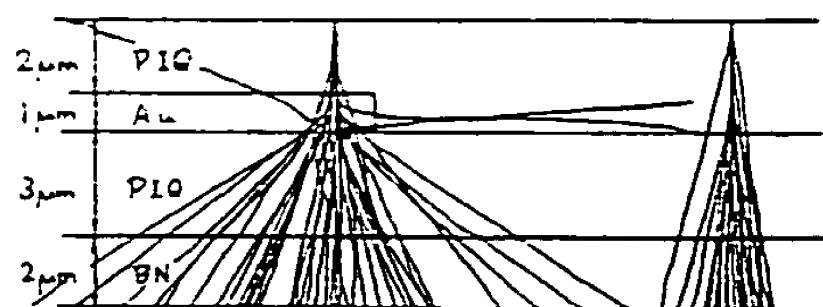
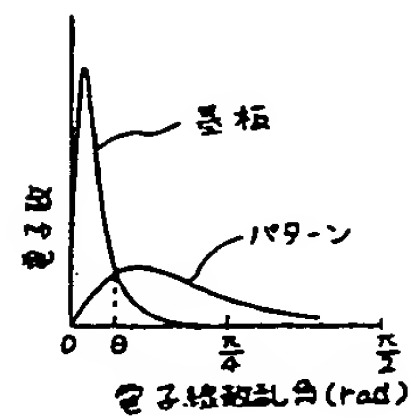
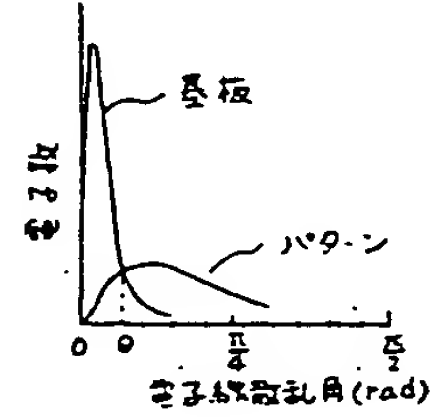


図 4

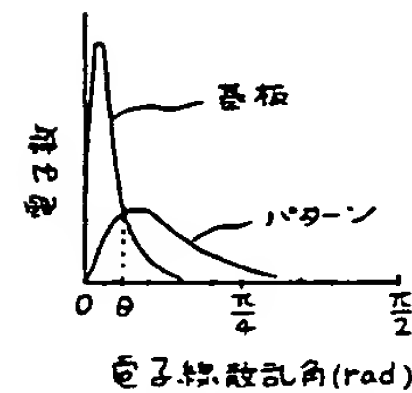
(a) BN系X線マスク
(ポリイミド保護膜2 μ m)



(b) BN系X線マスク
(ポリイミド保護膜0.5 μ m)



(c) SiN系X線マスク
(ポリイミド保護膜2 μ m)



(d) SiN系X線マスク
(ポリイミド保護膜0.5 μ m)

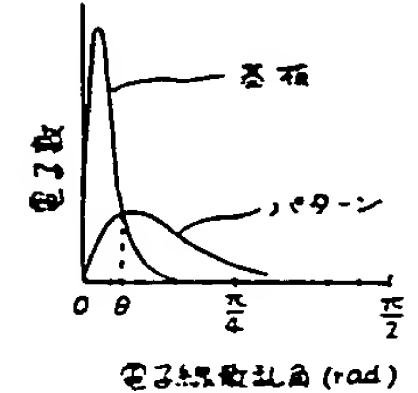


図 7

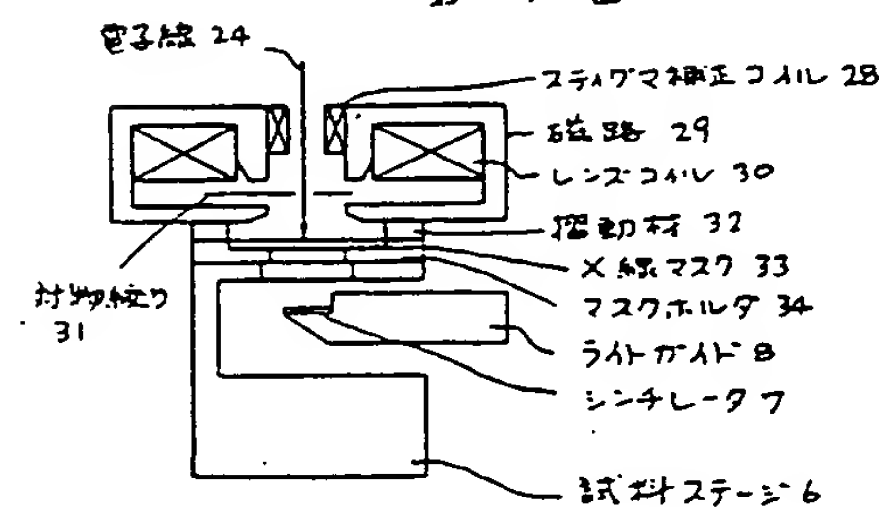


図 8

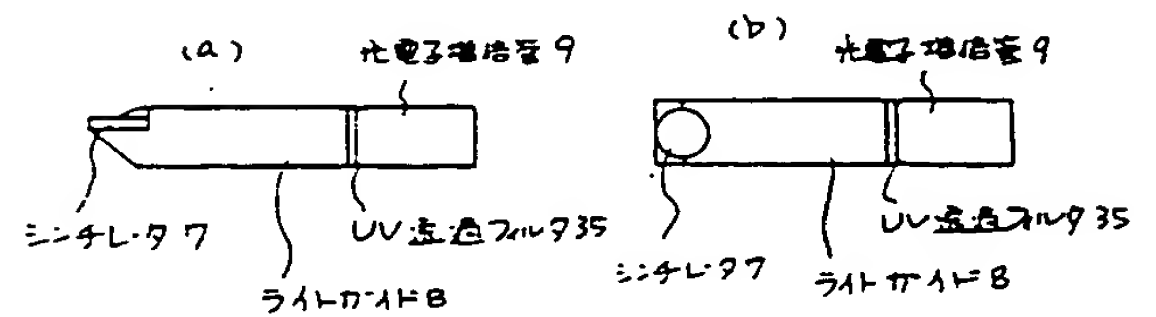
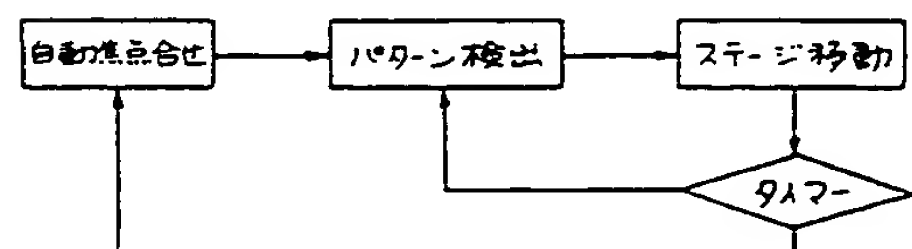
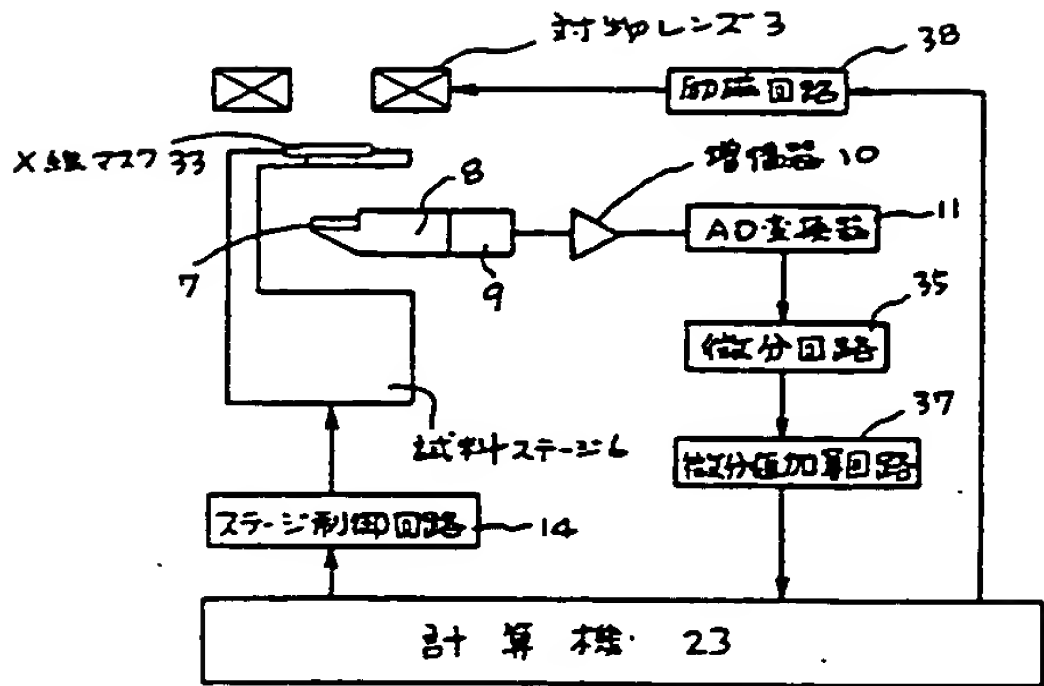


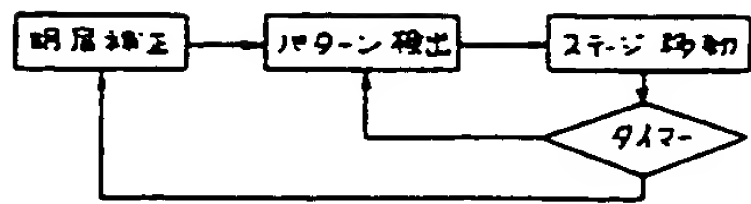
図 9



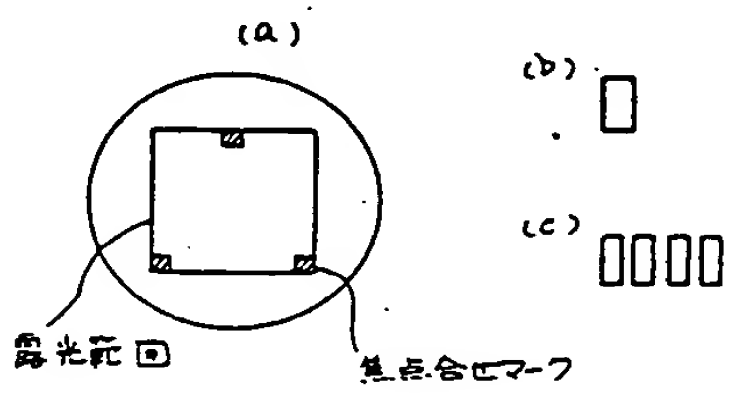
第 10 図



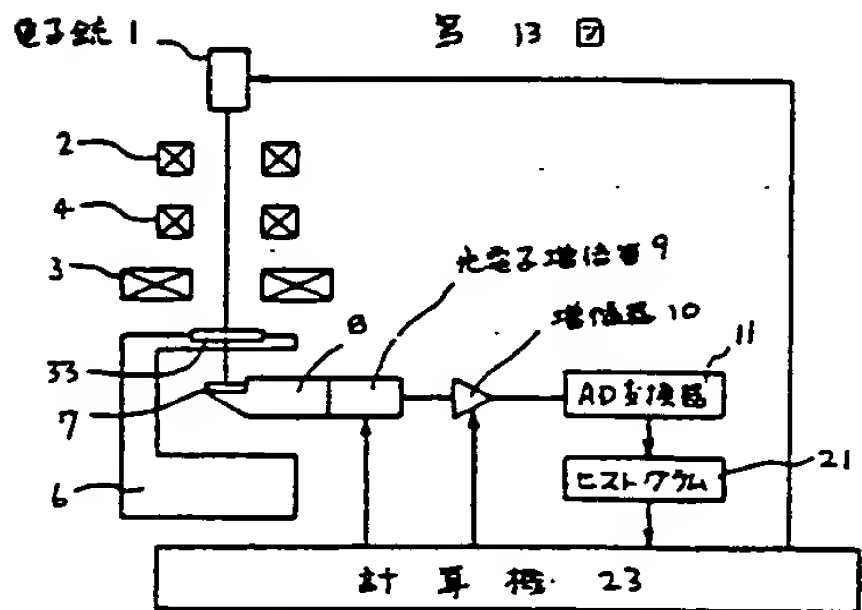
第 12 図



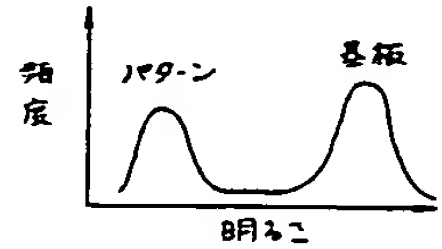
第 11 図



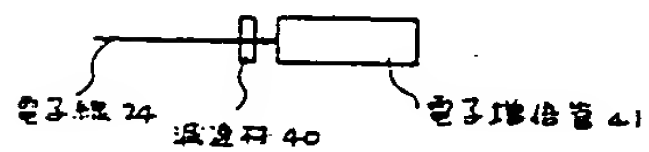
第 13 図



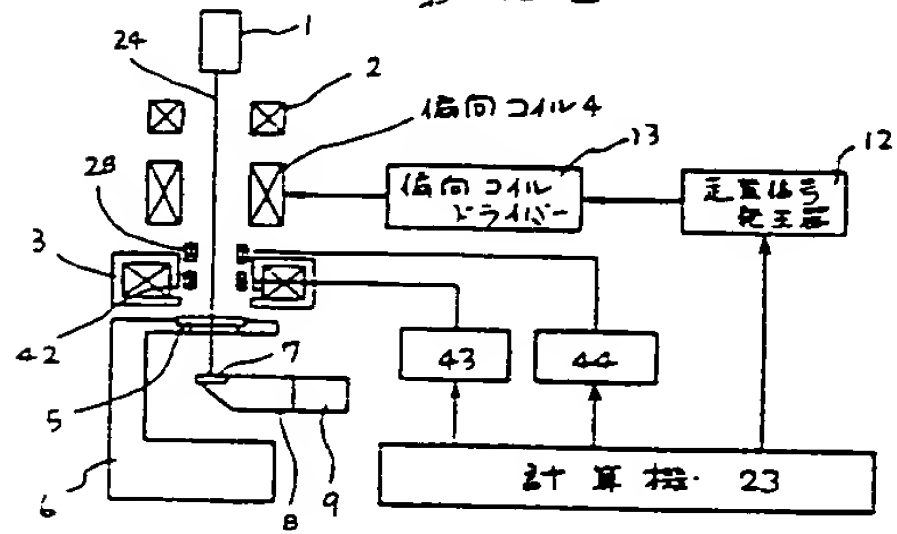
第 14 図



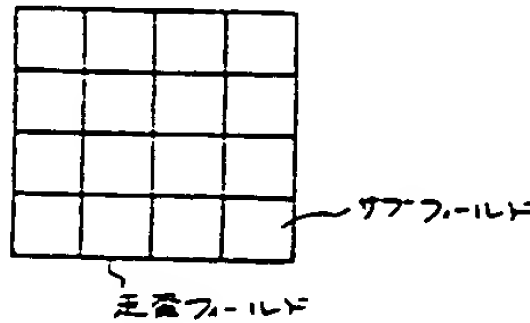
第 15 図



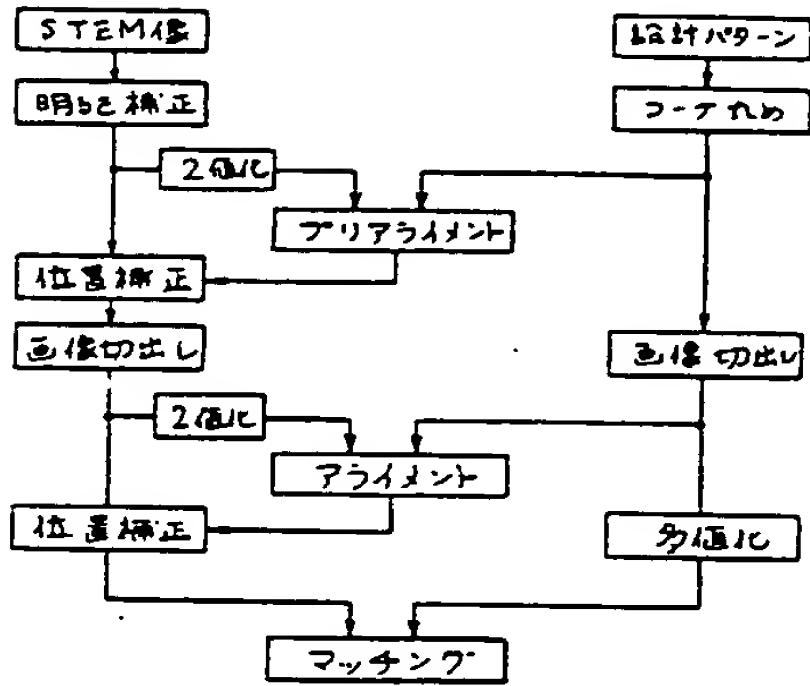
第 16 図



第 17 図



第 18 図



第 19 図

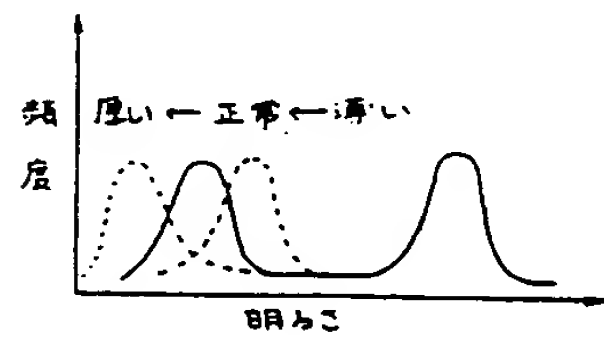


図 20 回

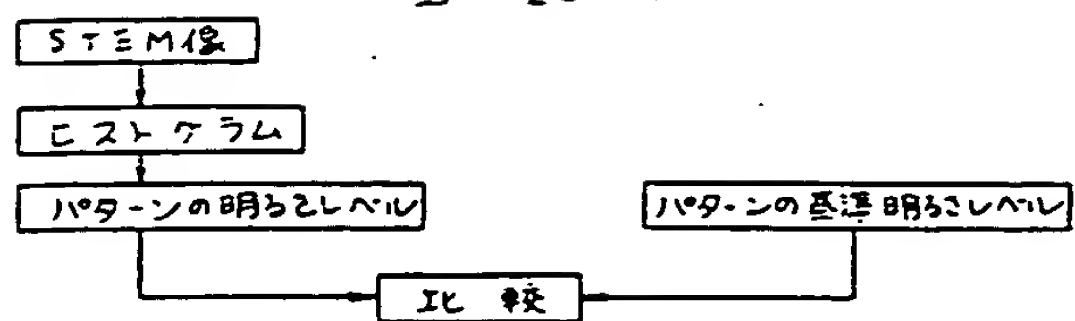


図 22 回

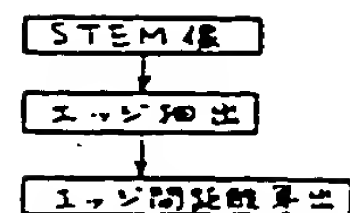


図 23 回

図 21 回

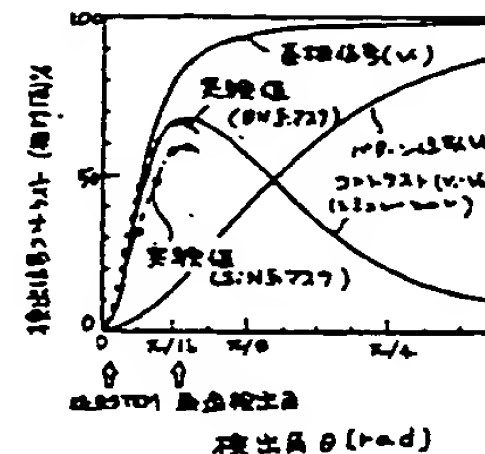
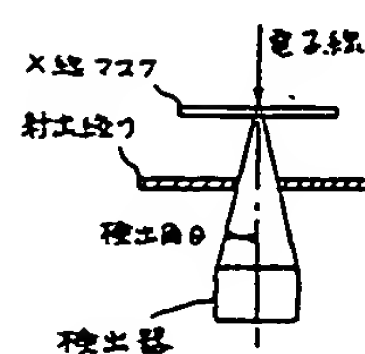
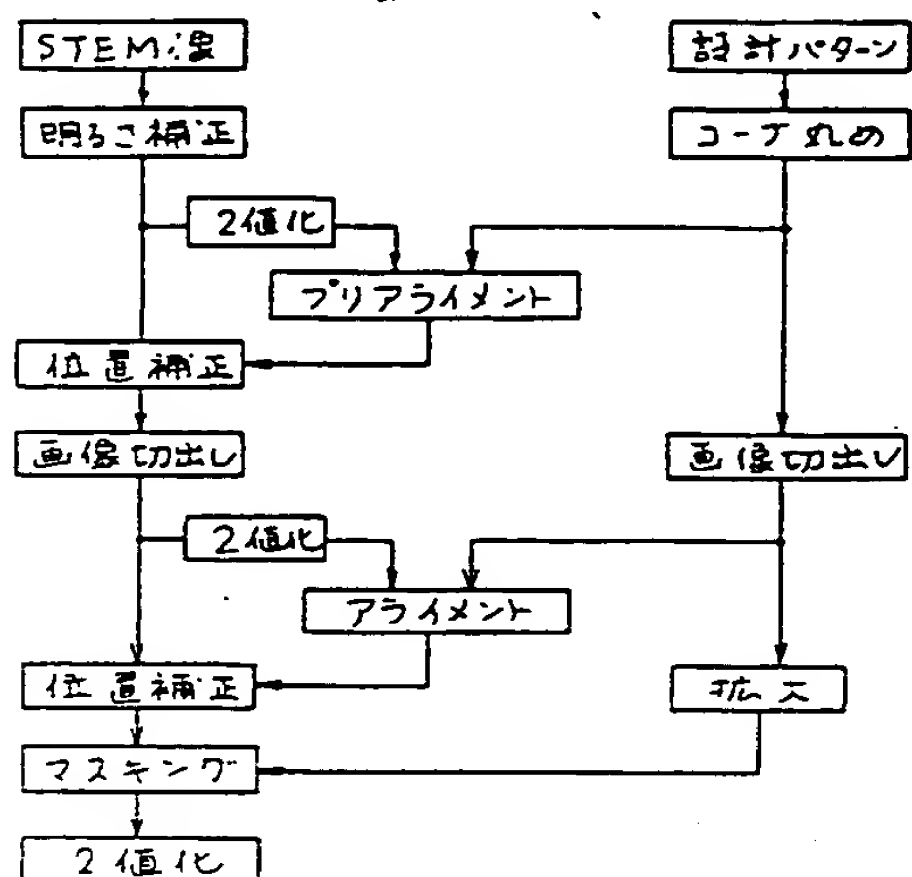
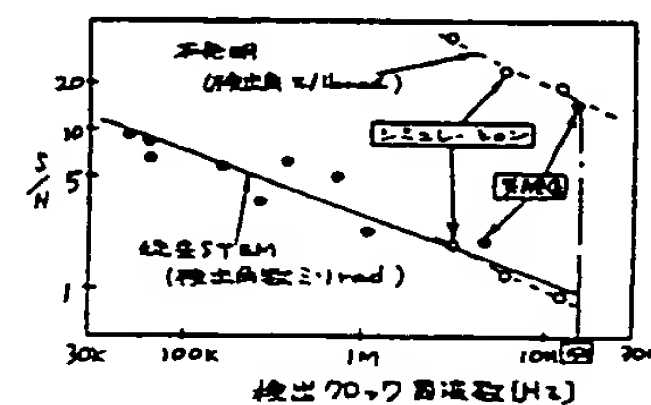
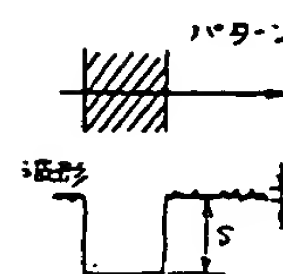


図 24 回



第1頁の続き

①Int. Cl.⁵

G 01 B 15/00
G 01 N 23/04
H 01 J 37/22
H 01 L 21/027
21/66

識別記号

B

庁内整理番号

8304-2F
7807-2G
7013-5C

J

7376-5F

⑦発明者 仲畑

光蔵

神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地 株式会社日立製作
所生産技術研究所内